

有效温度法则在我国粘虫发生 地理学上的检验*

林昌善 郑臻良

(北京大学生物学系昆虫学研究室)

一、引言

在生物发育学的发展历史上先驱工作者 Reaumer (1735) 很早就提出植物的季节现象, 例如谷类或果实的成熟都同植物生长季节的日平均温度保持一定的关系。他并且指出不同年份的类似的计算以及不同地带如热带、温带及寒带相同谷类的成熟期间内的平均温度的累积都是相等的。因此, 他指出: 生物受总热量后, 对生长的影响为一常数。这个概念一般可以下列公式表之:

$$NT = K \quad (1)$$

其中 N 为生长期所需的时间, T 为平均观察温度, K 为一常数。因为速率 $(V) = \frac{1}{N}$, 因而每一种过程的速率 (V) 就以下列公式表之:

$$V = \frac{T}{K} \quad (2)$$

在理论上公式 (1) 中的温度与时间关系的曲线为正双曲线, 同时公式 (2) 中的温度与速率的关系为一直线。实际上, 生物的发育起点并非同水的结冰点相吻合, 而是在不同种的生物或不同的生命过程是不一样的。因此, Gasparin (1844) 提出有效温度的概念而且把 5°C 定为有效温度的起点, 亦即现在所谓的发育起点温度 (C), 这样以上公式 (1) 就可以修订为:

$$N(T - C) = K \quad (3)$$

这公式 (3) 就成为目前常用的公式来表示昆虫在一定温度范围内其发育所需的有效总温度为一常数。Simpson (1903) 第一个发展了“温积常数”的概念, 且以“日度”作为此常数的单位。

随后许多学者深入研究了各种不同反应同温度的关系而提出了不同的公式。例如, Von't Hoff (1884) 提出了 Q_{10} 公式, Krogh (1914 a, b) 提出了 K_{10} 的常数, Arrhenius (1915) 提出了“温度特征” (θ) 的常数, Janish (1928) 提出对称垂曲线倒数关系, Bělehradek (1935) 提出了对数曲线公式, 以及最近 Davidson (1942, 1944) 应用了“逻辑斯谛”曲线 (Logistic curve) 来表示温度与速率的关系等等。要之, 他们都从各自研究的资料提出更适合的公式来表示化学反应或生物发育速率与温度的关系。

无论如何, 昆虫和其他无脊椎动物一样均属于变温动物亦即它们的体温是随着外界

* 本文承中国科学院昆虫研究所马世骏先生及北京大学张宗炳教授提供许多宝贵意见, 特此志谢。

环境温度变化而变化。它的生命过程如呼吸, 心搏等代謝过程的速率也将随体温改变而改变, 那就是在一定范围内是随着温度高低而加速或减慢。同样, 作为各个代謝过程的綜合效应——發育速率亦是如此。

过去曾經有很多位昆虫学家应用有效温度法則来檢查各种昆虫的不同發育阶段, 卵、幼虫、蛹、成虫或某些生命代謝过程所需要的总热量。Krogh (1914a) 研究黄粉蚋 (*Tenebrio molitor*), Sanderson & Peairs (1914) 研究了一般昆虫發育与温度关系, Blunck (1923) 研究了龙虱 (*Dytiscus marginalis*), Bodenheimer (1925) 研究了地中海果蠅 (*Ceratitis capitata*), Ludwig (1928, 1933) 研究了日本金龟蚋 (*Popillia japonica*) 和果蠅 (*Drosophila melanogaster*), Filing (1931) 研究了一种螟蛾 (*Phlyctaenia ferrugalis*), 八木誠政 (1934) 研究了二化螟 (*Chilo simplex*), Ahmad (1936) 研究了地中海谷蛾 (*Ephestia kuehniella*), Birch & Snowball (1945) 研究了小谷蠹 (*Rhizopertha dominica*) 和 Browning (1952) 研究了蟋蟀 (*Gryllulus commodus*)。苏联学者又应用了有效温度法則来檢驗各地区各种害虫發生代数与有效温积的关系, 经过实际的檢驗証明有效总温积同世代的数目有一定的关系。这类经过檢定昆虫包括有瑞典麦杆蝇 (*Oscinosoma frit*), 燕菁叶蜂 (*Athalia colibri*) 小菜蛾 (*Plutella maculipennis*) 草地螟 (*Loxostege sticticalis*), 苹果蠹心虫 (*Lespeyresia pomonella*), 玉米螟 (*Pyrausta nubilalis*), 黄地老虎 (*Agrotis segetum*) 等 (以上均引自 Шеропа, 1949) 他們应用有效温积法則的原理可以計算出各个地区这些害虫的可能發生世代数目或大概的指标。这些計算的世代数目同实际發生的世代数目在一定程度上是吻合的。

在我国因为地理幅員广大, 地跨温热带, 分布面积較大的害虫应是一个檢驗温度法則的好对象。因此我們想借用粘虫作为研究对象来檢驗这个法則在我国气候条件下的应用。

在国内关于粘虫温积与發育关系的研究据我們搜集資料只有零星片断的發生情况的报导, 而有关發育起点的观察只有刘增义等 (1956) 在 20°C 及 30°C 恒温下飼养的结果。卵、幼虫及蛹期的發育起点温度各为 13.7°C , 8.2°C 及 10.2°C 。他們并没有把这一结果与各地区的气候資料及有关粘虫發生的零星报导加以整理綜合, 得出有关粘虫在我国各地区可能發生世代約数与有效温积的关系。

本文目的就是通过实验室工作找出粘虫各虫期的發育起点及發育需要有效温积常数, 并搜集全国气候資料进行分析各地区的可能發生世代数目并与实际發生世代数目作比較。按照核対的结果我們將全国粘虫發生区划分为不同的世代区, 作为我国昆虫發生地理学的初步資料, 以供防治粘虫工作者作参考。根据我們初步檢查的结果, 我們認為有效温度法則在粘虫的發生地理学在一定程度上是可以应用的。但是, 因为种种原因 (参閱討論一节) 本法則受到一定的限制。

二、研究方法

为了叙述方便, 我們將研究方法分成三部分: (i) 試驗室内温积試驗及其結果的分析方法, (ii) 全国气候資料的搜集、整理与綜合 (iii) 全国粘虫發生地理学資料的搜集与理論世代数目的核対。

(一) 試驗室內溫積試驗及其結果的分析方法

這一段工作主要在試驗室內條件下研究粘蟲各蟲期的發育情況。我們試驗所用的粘蟲系由中國科學院昆蟲研究所生物防除組供應。這些粘蟲已經在所內飼養多年并經專家鑒定為 *Cirphis unipuncta* Haw.。材料取回後又在我們試驗室內在定溫定濕的條件下(溫度為 $27^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 及相對濕度為 75—80%)，幼蟲以玉米幼苗喂養，成蟲以糖水喂養。我們供試的粘蟲都是從這種試驗室條件內飼養出來的。

溫積試驗的設計：為了檢定粘蟲各蟲期在不同溫度條件下發育的速率，我們選定 15° ， 18° ， 20° ， 25° ， 30°C 五個不同溫度條件。供試驗用的溫箱有大小不同的類型， 30°C 及 25°C 較為穩定(約為 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)， 15°C 及 20°C 溫度的穩定性較差(約 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$)， 18°C 溫度變動範圍在以上二者之間，不足 1°C 。就在這五種不同溫度條件下我們分別以各蟲期及各齡期加以培養。各蟲期及各齡期均分別飼養，成蟲則分對飼養。試驗各組所用蟲數多寡不一(詳細情況見表 2)。我們按不同蟲期分別以大小不同的玻璃瓶及指形管飼養。容器內均以飽和 NaNO_2 溶液保持 65% 的相對濕度，每天檢查一次，記錄其在各處理條件下卵期、幼蟲各齡期、蛹期及成蟲性成熟期(以產卵盛期為標準)的長短。現在將各蟲期試驗所用器材等分別概述如下：

(1) 卵：在 250 毫升廣口瓶中，放入 2×5 厘米標本管 1 個。在標本管內，放入當天(24 小時內)產下的卵 100 粒。在標本管口塗以凡士林一圈，以防幼蟲孵化後逸出并設法以鐵絲將標本管支持，使不致倒下或接觸瓶壁。在廣口瓶與標本管間注入飽和 NaNO_2 溶液，以保持一定的相對濕度。

(2) 幼蟲：在 9×11 厘米鐵蓋瓶中，放入 2×9 厘米標本管 8 個，每一標本管放入經擦干的玉米嫩葉若干。在標本管口塞以棉花球，同樣在鐵蓋瓶內注入 NaNO_2 飽和溶液以維持一定濕度。但由於塞緊了的棉花球以及潮濕的新鮮葉片的存在，以致使標本管中可能有游離水珠出現，而使幼蟲(尤其是 1—3 齡幼蟲)被水珠粘住死亡，因此對 1—3 齡幼蟲改用方法如下：用 6×9 厘米玻璃皿，放入玉米葉少許，以每厘米約 34 孔的絲質紗布蒙蓋。每皿放入同一天孵化(或蛻皮)的幼蟲數條，在上述鐵蓋瓶內飼育。

(3) 蛹：在 6×9 厘米玻璃皿中，放入經高溫消毒的濕土(含水量約為 15%)約 1 厘米深。在濕土表面放入當天化成的蛹 5 頭(不分性別)，于上述鐵蓋瓶中；仍以 NaNO_2 維持濕度。

(4) 成蟲：在 250 毫升廣口瓶中，各放入當天羽化之成蟲一對(其性別根據後翅翅韌數目，♂ 具翅韌 1 個，♀ 性具翅韌 3 個)及干稻草數條，上蒙以每厘米約 16 孔的紗布，在紗布上放有以 $1/3$ 蜜水浸潤的棉花一塊(為了保證瓶內空氣的流通，濕棉花的大小不超過瓶口的 $1/2$)，以便成蟲取食。每天檢查產卵一次，記錄其產卵數。以自羽化起至最高產卵量來臨日止所經的日數，作為在各溫度下成蟲產卵所需要的日數。同樣，成蟲處理亦在 65% 的相對濕度下進行。

關於各蟲期發育起點與有效溫積求得方法的說明：

由於已經假定溫度(T)與發育速率(V)成直綫關係，即 $T = a + bV$ ；且有效溫積數(K)與發育起點(C)有一定關係， $K = N(T - C)$ ；因此可將此兩公式連系如下：

已知 $K=N(T-C)$, $V=\frac{1}{N}$, $N=\frac{1}{V}$.

則 $K=\frac{T-C}{V}$, $VK=T-C$, $T=C+KV$.

因此 a 相当于 C , b 相当于 K .

由此,可以把各虫期的發育速率与温度关系写成 $T=C+KV$,或 $V=\frac{T-C}{K}$ 的标准形式。其几何圖形如圖 1 实綫所示。

由此,可以代入一般統計学上常用的以“最小自乘方”决定系数的公式(Richardson, 1935)分别决定 K 及 C 两个常数如下:

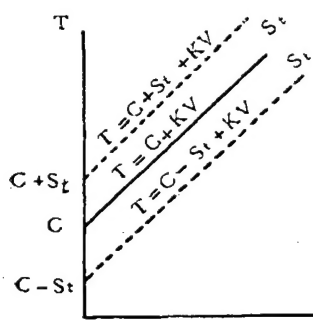


圖 1

$$K=\frac{n\Sigma VT-\Sigma V\Sigma T}{n\Sigma V^2-(\Sigma V)^2}, \quad C=\frac{\Sigma V^2\Sigma T-\Sigma V\Sigma VT}{n\Sigma V^2-(\Sigma V)^2}.$$

其中 n 为次数或处理項目,在本实验中計有 5 个温度处理,故 $n=5$ 。但是由于以上方法所求出的只是平均的發育速率与温度关系。因此同时求出此直綫公式的估計标准誤差 (Standard error of estimate)。其对温度的估計标准誤差 (S_t) 可以由 $S_t=\sqrt{\frac{\Sigma \rho_i^2}{n}}$ 求得 (Richardson, 1935) 其中 $\rho_i=T_i$ 的觀察值 $-T_i$ 的計算值。 S_t 可以視為發育起点 C 的标准誤差(圖 1 虛綫)。

例如卵期在 15°C 下为 15 天(見表 2) 故發育速率为 0.0667 (即 $\frac{1}{15}$) 同样在 18°C , 20°C , 25°C 以及 30°C 下發育速率分别为: 0.1111 ; 0.1428 ; 0.2899 ; 以及 0.3322 代入公式和發育起点 (C) 为 13.1°C , 有效温积 (K) 为 45.3 日度(見表 1)。

表 1 發育起点与有效温积求得方法示例(粘虫卵期)

$T(^{\circ}\text{C})$ 觀 察 值	V 觀 察 值	VT	V^2	T^* 計 算 值	$T-T'$ (ρ_i)	$(T-T')^2$ (ρ_i^2)
15	0.0667	1.0005	0.0044	16.1	-1.1	1.21
18	0.1111	1.9998	0.0123	18.1	-0.1	0.01
20	0.1428	2.8560	0.0204	19.6	0.4	0.16
25	0.2899	7.2475	0.0900	26.2	-1.2	1.44
30	0.3322	9.9660	0.1104	28.1	1.9	3.61
Σ 108	0.9427	23.0689	0.2375			6.43

$$K=\frac{n\Sigma VT-\Sigma V\Sigma T}{n\Sigma V^2-(\Sigma V)^2}=\frac{5\times 23.0689-0.9427\times 108}{5\times 0.2375-(0.9427)^2}=\frac{13.5329}{0.2987}=45.3(\text{日度})$$

$$C=\frac{\Sigma V^2\Sigma T-\Sigma T\Sigma VT}{n\Sigma V^2-(\Sigma V)^2}=\frac{0.2375\times 108-0.9427\times 23.0689}{5\times 0.2375-(0.9427)^2}=\frac{3.9039}{0.2987}=13.1(^{\circ}\text{C})$$

* T' 由 $C+KV$ 公式即 $13.1+45.3V$ 求得

因此,其平均的發育速率与温度关系公式为

$$V=\frac{T-13.1}{45.3}.$$

由此可算出在各發育速率下温度的計算值(T')如表一所示。由此結果,可以从 $S_t=\sqrt{\frac{\Sigma \rho_i^2}{n}}$ 算出發育起点 (C) 的标准誤差 (S_t)。例如卵期已知 $\Sigma \rho_i^2=6.43$ (見表 1) 故

$$S_t = \sqrt{\frac{6.43}{5}} = \sqrt{1.2} = 1.1.$$

因此，粘蟲卵期發育速率與溫度的關係公式應為

$$V = \frac{T - (13.1 \pm 1.1)}{45.3} \text{ (見表 3) }.$$

其他各蟲期的計算方法與卵期相同（詳細結果見表 3）。

(二) 全國氣象資料的搜集與整理

氣象資料是由軍委中央氣象局 1951 年出版的“中國氣象資料”一書內取得全國若干地點（計東北、內蒙 17 點，華北 24 點，西北 12 點，華東 51 點，中南 16 點，西南 11 點，共 131 點）的常年每月平均氣溫紀錄。在實驗結束後，根據所求知的發育起點(C)；按常用的 $K=N(T-C)$ 公式，算出各地常年每月可能累積的有效溫積數以及全年的有效溫積總數。但如逢該月平均溫度低於其發育起點，則該月有效溫積數以零計算。如用公式表示，則 K_1 平均有效溫積數 =

$$\sum_{i=1}^{i=12} (T_i - A) N_i.$$

當 $T_i \geq C$ 時，則 $A=C$ ；當 $T_i \leq C$ 時，則 $A=T_i$ ，即 $T_i - A=0$ ；其中 K_1 為各地平均有效溫積總數， T_i 為 i 月份的常年平均溫度， N_i 為 i 月份的日數（2 月份經常以 28 天計算）。例如北京市常年平均氣溫（摘自中央氣象局 1951；按 1841—1936 年間紀錄計算）如下：

月 份	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
月平均溫度 單位：°C	-4.6	-1.5	5.0	13.6	20.1	24.4	26.1	24.9	20.1	12.7	3.9	-2.6

則北京常年對粘蟲整個生活史發育而言（ $C=9.6$ ，見表 3）為 $K=30(13.6-9.6)+31(20.1-9.6)+30(24.4-9.6)+31(26.1-9.6)+31(24.9-9.6)+30(20.1-9.6)+31(12.7-9.6)=2286.4$ 日度。同樣，可根據 K_2 （最大有效溫積總數）=

$$\sum_{i=1}^{i=12} (T_i - A_2) N_i$$

當 $T_i \geq C - S_t$ 時， $A_2 = C - S_t$ ；當 $T_i \leq C - S_t$ 時，則 $A_2 = T_i$ ；

$$K_3 \text{ (最小有效溫積總數)} = \sum_{i=1}^{i=12} (T_i - A_3) N_i$$

當 $T_i \geq C + S_t$ 時， $A_3 = C + S_t$ ；當 $T_i \leq C + S_t$ 時，則 $A_3 = T_i$ ；

求出各地的 K_2 以及 K_3 值。

北京市常年對粘蟲整個生活史發育（ $C=9.6$ ， $S_t=1.0$ ，見表 3）而言的 $K_2=2500.4$ ， $K_3=2042.4$ （見表 4）。其他各地的常年有效溫積總數亦系由同法求得。

此外，為了比較哈爾濱與北京兩地的粘蟲發生歷與溫積的關係，又從中央氣象台取得各該兩地的 5 厘米深處的土溫紀錄（詳細討論見資料分析與結果）。

(三) 全國粘蟲發生地理學資料的搜集與理論世代數目的核對

有關全國粘蟲發生地理學資料，除了錄自雜誌外，主要由中央農業部植物保護局，植物保護司，以及華北農業科學研究所麥作害虫組取得。我們曾查閱了該兩處所存的有關粘蟲發生情況的資料，摘錄其中有關粘蟲在各地發生世代數的部份，作為實際發生情況資料，在試驗結束後加以整理且與根據室內試驗而估計的各地可能發生世代數目加以核對比較。

三、材料分析及結果

(一)粘虫各虫期的發育起点与有效溫积数

本实验主要部份在 1956 年 2 月 10 日到 6 月底进行, 在 10 月至 11 月間对其中重复不够部份, 又作了一些补充, 結果如下:

表 2 粘虫在不同温度下为完成某一發育阶段所需日数

發育阶段	在 15°C 下 發育所需日数	在 18°C 下 發育所需日数	在 20°C 下 發育所需日数	在 25°C 下 發育所需日数	在 30°C 下 發育所需日数
卵 期	15.00 (15) 100	9.00 (9) 100	7.00 (7) 100	3.45±0.18 (3-4) 300	3.01±0.04 (3-4) 300
1 齡幼虫	5.09±0.19 (5-6) 26	3.75±0.41 (3-4) 15	3.36±0.49 (3-4) 11	2.43±0.55 (2-4) 37	2.33±0.48 (2-3) 15
2 齡幼虫	5.85±0.53 (5-7) 26	4.80±0.64 (4-6) 10	3.08±0.29 (3-4) 13	2.04±0.19 (2-3) 26	2.11±0.27 (2-3) 10
3 齡幼虫	7.10±0.86 (6-8) 10	4.14±0.88 (3-5) 7	3.12±0.33 (3-4) 8	2.29±0.45 (2-3) 17	2.11±0.27 (2-3) 10
4 齡幼虫	7.30±1.25 (6-9) 17	5.09±0.81 (4-6) 11	4.75±0.66 (4-6) 8	2.63±0.67 (2-4) 33	2.20±0.71 (2-3) 10
5 齡幼虫	12.33±2.40 (10-16) 12	5.93±0.96 (5-7) 11	5.11±0.56 (4-6) 9	4.04±0.13 (4-5) 24	2.55±0.55 (2-3) 9
6 齡幼虫 (包括前蛹期)	16.08±1.26 (14-18) 12	13.36±1.29 (12-15) 11	10.60±0.83 (10-12) 14	9.50±0.67 (8-10) 10	8.67±0.74 (8-10) 6
幼 虫 期	53.75±9.55 (46-64)	37.07±5.86 (24-43)	30.06±4.16 (27-36)	22.92±3.23 (17-24)	20.38±3.06 (18-25)
蛹 期	68.00 (68) 2	20.63±0.88 (19-22) 11	14.44±1.32 (13-16) 11	9.39±0.65 (9-11) 24	7.27±0.63 (6-8) 11
成虫产卵	20.00±1.82 (18-22) 4	13.80±1.07 (13-15) 5	8.60±0.89 (8-10) 5	6.83±0.97 (6-8) 6	5.60±0.55 (5-6) 8
整个生活史	156.75±11.73 (149-163)	80.50±7.81 (76-87)	60.07±6.28 (55-69)	42.99±5.03 (35-52)	36.26±4.28 (32-43)

注: 括弧内数字为日数或其变动范围, 右下角数字为观察头数, 成虫为对数。

由以上結果, 按 $V = \frac{1}{N}$ 公式, 算出各虫期在不同温度下的發育速率(V), 以表示在

这些温度下每天所能完成的各该发育阶段的发育比例。再由这些在不同温度下的不同虫期的发育速率,按前述的“最小自乘方”法,决定各虫期的发育起点发育温积以及温度与发育速率的关系公式如下:

表 3 粘虫各虫期的发育起点与有效温积

发育阶段	发育起点(°C) ($C \pm S_i$)	有效温积(日度) K	温度与发育速率关系的理论公式
卵期	13.1 ± 1.1	45.3	$V = \frac{T - (13.1 \pm 1.1)}{45.3}$
幼虫期	7.7 ± 1.3	402.1	$V = \frac{T - (7.7 \pm 1.3)}{482.1}$
蛹期	12.6 ± 0.5	121.0	$V = \frac{T - (12.6 \pm 0.5)}{121.0}$
成虫产卵	9.0 ± 0.8	111.0	$V = \frac{T - (9.0 \pm 0.8)}{111.0}$
整个生活史	9.6 ± 1.0	685.2	$V = \frac{T - (9.6 \pm 1.0)}{685.2}$

(二)粘虫发生地理学与温积的关系

由上述实验结果,我们试根据全国各地(计 131 点)常年每月平均气温资料,算出各地对粘虫发育而言的常年可能积累的有效温积总数(K_1, K_2 以及 K_3),并依此估计各该地区的可能发生世代数目,最后与我们所掌握的实际发生世代数目资料,进行比较,以资核对。兹略举数例如下(表 4):

表 4 粘虫在我国各地的可能发生世代数与其温积的关系

地名	纬度	经度	海拔 (米)	平均有效温积 总数(日度) $K_1 = \Sigma(t-9-6)$	$\frac{K_1}{K}$	最大有效温积 总数(日度) $K_2 = \Sigma(t-8-6)$	$\frac{K_2}{K}$	最小有效温积 总数(日度) $K_3 = \Sigma(t-10-6)$	$\frac{K_3}{K}$	估计发生世代 数目	实际发生世代 数目
满洲里	49°38'	117°26'	646.3	869.3	1.27	1022.3	1.48	743.5	1.08	1—1+	1
齐齐哈尔	47°20'	123°56'	148.1	1233.2	1.81	1386.2	2.02	1080.2	1.58	1+—2	2
哈尔滨	45°45'	126°28'	141.5	1417.6	2.07	1570.6	2.29	1264.6	1.84	2	2
长春	43°55'	125°18'	215.7	1425.6	2.07	1578.6	2.34	1272.6	1.86	2	2
沈阳	41°47'	123°24'	44.3	1691.8	2.50	1869.5	2.77	1538.8	2.25	2—3	3
北京	39°56'	116°06'	51.3	2286.4	3.34	2500.4	3.65	2042.4	2.94	3—4	3—4
济南	36°06'	117°02'	53.9	2791.0	4.07	3005.0	4.39	2577.0	3.91	4—4+	4
西安	36°37'	101°49'	2275.0	2646.4	3.86	2776.7	4.05	2432.4	3.55	3+—4	4
南京	32°03'	118°47'	67.9	2820.3	4.12	2944.3	4.30	2756.3	4.02	4—4+	—
成都	30°41'	104°12'	503.1	2876.6	4.20	3154.6	4.60	2601.6	3.79	4—5	4—5
汉口	30°35'	114°17'	27.5	3087.8	4.51	3362.8	4.91	2815.9	4.11	4—5	—
福州	26°00'	119°20'	189.0	3723.0	5.43	4088.0	5.97	3358.0	4.90	5—6	6—7
广州	23°06'	113°18'	8.8	4562.5	6.66	4927.5	7.19	4197.5	6.13	6—7	7—8

由此可见,我们所推测的可能发生世代数与实际发生情况大致吻合,用同样方法,我们根据全国 131 点的计算结果划出粘虫在我国发生世代数的区域分布图(见图 2)。同时为了表示方便起见,我们选用了若干条全年平均气温等温线作为粘虫发生世代数目区域分布的近似界限。它们是:

—2°C 等温线为 1 代区与 2 代区之间的近似分界线;

6°C 等温綫为 2 代区与 3 代区之間的近似分界綫；
12°C 等温綫为 3 代区与 4 代区之間的近似分界綫；
16°C 等温綫为 4 代区与 5 代区之間的近似分界綫；
18°C 等温綫为 5 代区与 6 代区之間的近似分界綫；
20°C 等温綫为 6 代区与 7 代区之間的近似分界綫；
22°C 等温綫为 7 代区与 8 代区之間的近似分界綫；
22°C 等温綫以南为 8 代区。

我們曾將此結果与华北农业科学研究所麦作害虫根据实际發生世代情况所繪出的各地区粘虫發生世代数目的区域分布圖(未發表資料)进行比較,两者是大致相符合的。

同时,我們曾参照“中国气候区划草案”(張宝堃等, 1956)試將各地粘虫生长季(候平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$)的长短与粘虫可能發生世代的数目相連系,我們發現它們的关系大致如表 5。

表 5 粘虫生长季与其可能發生世代数目的关系

生 长 季 (单位: 候)	可能發生世代数	包 括 地 区
12—23	1	大小兴安岭
24—35	2—3	东北大部地区
36—47	3—4	华北地区
48—59	5—6	四川盆地, 黔鄂山地, 长江三角洲浙閩地区部份
60—73	7—8	浙閩地区部份, 两广, 台閩, 海南島

(三)粘虫發生历与温积关系

以上只是把整个生活史作为一个单位, 从平均每年粘虫可能积累的有效温积总数与其在全国範圍內可能發生的世代数的地理分布的关系加以考虑。事实上, 其每一虫期的發育起点与發育有效温积是不相一致的。因此, 特以哈尔滨与北京两地为例, 从發生历与可能积累的温积关系, 作表分析如下(見表 6, 表 7)。

由两表(表 6, 表 7)可以看出如用粘虫發生历与温积关系作具体檢查, 則大体上均为吻合, 且都指出了上述两地均以蛹期为其主要越冬虫态。从表 7 中可以看出就哈尔滨地区而言, 推测發生虫期与实际發生虫期是極為吻合的, 且指出了有部份第 3 代成虫出現的可能。因此有可能一少部份以成虫越冬(至于越冬的成虫是否在越冬过程中冻死, 不在本文考虑之列)。

从表 4 中, 更可看出虽然北京地区 $\frac{K_1}{K}$ 只有 3.34; 但是仍然每年可能發生 4 个世代。但由于我們所取用的各虫期实际發生期系华北地区的一般粘虫發生历, 而与北京市不可能完全一致, 因此, 使表 6 所示的推测發生虫期与实际發生虫期的吻合程度, 不及表 7。

如果再从表 4 所計算 $\frac{K_2}{K} = 3.78$, 那么每年發生 4 代也有可能。

(四)关于我国北方地区可能越冬虫态及其与温积累积的关系

承前所述, 在較高的温度下有較快的發育速率; 因此在各地区不同的气候条件下, 可能發生的世代数目各不一致。同样在寒冷(即低于發育起点的温度)来临以前, 各地区所可能殘存的粘虫各虫期亦各不相同。同时, 由于發育速率不整齐与世代重叠現象, 而使这些可能越冬的虫期(指越冬前殘存者, 暫不考虑其是否可以在越冬后繼續存活)并不是单一

的虫期，而是一系列的虫期。

考虑到实际工作的需要，将我們初步的实验结果，从可能越冬虫态与温积累积的关系作如下整理：因为各虫期的发育起点与发育温积各不相同，故先算出各虫期在整个生活史中所占的比重。

因为在每年的生长季两端的温度都为低温，因此在计算各虫期在整个生活史中所占的比重时，按在 15℃ 下实验结果进行。

由于在东北及华北地区一般最早出现的虫期为成虫，故暂定以初羽化成虫为每年发生历的起点。

例如成虫期在 15℃ 下为 20 天，而在同温度下整个生活史共 156.75 天（见表 2）。因此成虫期在整个生活史中所占比重为 13%，其他虫期亦由同法算出其在生活史中的比重，结果见表 8 上列所示。表 8 下列数值系由同表上列数值到该虫期止的总和（例如卵期则为成虫期的 13+ 卵期 10 共计 23），表示至该虫期終了时，所完成的生活史部份在整个生活史中所占的比重。

表 8 作为推测粘虫可能越冬虫期指标的粘虫各虫期在整个生活史中所占的比重

虫 期	成虫期	卵期	1 龄幼虫	2 龄幼虫	3 龄幼虫	4 龄幼虫	5 龄幼虫	6 龄幼虫	蛹期
该虫期在整个生活史中所占的比重(%) (以 15℃ 为标准)	13	10	3	4	5	5	8	10	42
至该虫期終了时，所完成的生活史部份 在整个生活史中所占的比重(%)	13	23	26	30	35	40	48	58	100

由此结果，可大体上估计各地区粘虫的可能越冬虫态。例如北京市 $\frac{K_1}{K} = 3.34$, $\frac{K_2}{K} = 3.65$, $\frac{K_3}{K} = 2.94$ (表 4)。因此该地的可能越冬虫态可从第 3 代蛹 (2.94) 起，到第 4 代蛹 (3.65) 止。其中主要为第 4 代老熟幼虫 (3 龄以后) (3.34) 以及蛹态 (2.94), (3.65)。哈尔滨市 $\frac{K_1}{K} = 2.07$, $\frac{K_2}{K} = 2.29$, $\frac{K_3}{K} = 1.84$, 因此该地可能越冬虫态为第 2 代蛹 (1.84) 以及第 3 代成虫 (2.07), 卵期以及 1.2 龄幼虫恐不可能越冬。

如某年温度改变而使某些地区 $\frac{K_1}{K}$, $\frac{K_2}{K}$ 以及 $\frac{K_3}{K}$ 有所改变时，则可能越冬虫态亦将作相应的改变。可惜这方面尚缺乏实际资料可以证明，仍有待于各方面粘虫工作者及其他昆虫学工作者进一步探究。

四、討 論

(一)关于有效温积法则的应用及其局限性

在本文引言中我們已经叙述过去有许多学者提出各种不同公式来表示生物的发育速率与温度的关系。这些公式作为理论研究是有它们的意义。但是如用于昆虫生态学上，以估计与推测昆虫的每年可能发生世代数目，甚至大致发生历就不需要用过于复杂的数理公式，我们认为可以把这一关系看作直线对待。亦正如此 Sanderson-Pearis-Krogh 的一般总结 (温度与发育速率为直线关系；温度与发育所需时间为正双曲线关系；发育所需的有效温积总和为常数) 对于田间工作者是有实践的意义。它可以用来推测一年中不同季节各种不同发育时期的大约的出现时间，以及用来推测每年在不同地区可能发生的世

代数目。因此, Bodenheimer(1926)也提到了“昆虫在一定温度下發育所需要的有效总温积为一常数”的有效总温积法则。

我們承認温积法则有其普遍的指导意义, 但是我們也不否定它的局限性和片面性。可以很清楚的看到决定昆虫生长發育速率的自然因素不仅是温度一个, 其他自然因素如食物、光照、寄生等……尤其是湿度, 亦在一定程度上影响發育进行的速率。

例如小泉清明(1929)利用 Headlee(1921)关于湿度与豆象 (*Bruchus obtectus* Say) 發育速率关系的研究結果作了分析后, 指出湿度与發育速率的关系可用:

$$K = \frac{100}{D - E(100 - H) + b}$$

公式表示, 其中 K 为發育速率, E 为当时温度下空气最大水蒸气压, D 为依虫体水分蒸發面、温度、气压以及風速而轉移的蒸發系数, H 为相对湿度(%), b 为常数。

昆虫生活史各期(卵, 幼虫, 蛹及成虫)因适应的程度不同和生理状况不一, 因此各虫期的發育起点与發育温积也不一样, 很显然地, 如果强求将整个生活史的發育起点固定为一个温度是与实际發育情况不很符合, 不但如此, 在自然条件下温度是經常变动的, 而不像在恒温箱条件下那么稳定不变。同时昆虫生活的微气候条件下的情况与百叶箱的記錄是迥然不同的。有此种种原因使得应用有效温度法则时受到一定的限制。正如 Шегольев 教授所指出: “因此之故, 有效温度法则, 假如不是形式主义来对待它, 而顧及到影响的可能性和所有一切的其他因子的話仅只能暗示推論关于害虫世代可能的代数的某种大概的指标; 根据昆虫發育的各个阶段的發生所必需的有效温度总和, 仅只能在一定的天气条件之下, 近似地計算某种阶段出現的大概期限”(Шегольев, 1949)。

虽然如此, 我們認為温积法则作为一个生态学上的規律以决定与推測各昆虫在各地區的常年可能發生世代数目, 与大致發生历, 仍有一定的意义, 而且有其預見性。可根據室內實驗結果与各地區气象資料, 以推測与預見一大地区(包括某些尚未設置观测站的地區)的某种昆虫的常年可能發生世代数目及某虫期的大致出現日期。

我們認為: 适于作温积研究, 以决定其在各地區的可能發生世代数目的昆虫一般应具有下列条件:

1. 在生活史过程中, 沒有滯育或至少沒有明显的滯育現象, 有夏眠習性的种类(如榆叶蠅)亦不宜。

2. 一般供研究的昆虫种类是广温性的且有較广的地理分布, 否則决定其在各地區的可能發生世代数, 将缺少实际意义。

3. 一年發生若干世代, 且可以明显地感到其發生世代数目在不同温度条件下, 各不相同。但一年發生世代数过多, 世代过于重叠(如各种蚜虫)或一世代需要多年者(如金針虫和某些鱗蝨)因越冬影响可能很大, 推測时更有困难。

4. 在生活史过程中, 供研究的昆虫有生活習性的明显改变者(如稚虫水生, 而成虫却陆生等)应特別考虑水陆环境条件的显著差别这一特点。

5. 較易于室內飼养。

作者認為: 果蠅、东亚飞蝗、榆毒蛾、青叶蠅、某些瓢虫、二化螟、三化螟、草地螟、小菜蛾、胡蜂等昆虫都可以作为試驗研究的对象。

(二) 關於推測發生世代數目與實際發生世代數的差異程度及其引起原因的探討

由表 4 中可以看出，雖然推測發生世代數目與實際在自然界中發生的情況大致相似，但仍有所差異，且大體上表現為實際發生世代數目比我們計算所得的可能發生世代數略為加多。對此我們估計可能有下列原因：

1. 由於發育速率的個體差異而引起的生活史不整齊（世代重疊）所導致的：從表 2 中亦可看出，在不同個體間即使在相同溫度下，為了完成某一發育階段所需要的时间是不相一致的。如以 25°C 為例：最快的只需 35 天，而最慢的却需 52 天，而我們的溫積計算是依據其平均數字（42.99 天）求得的。因此在自然界正常的情况下，始終有一部分個體更早的完成其生活史周期，表現為實際發生世代數目，略較推測發生世代數為多，事實上，粘蟲生活史的世代重疊現象，在很多作者（如魏鴻鈞，1953 等）的著作中，均曾強調指出。

2. 由於變溫及恆溫條件下，發育速率不同所導致的：我們的實驗處理，是在恆溫條件下進行的，因此不同於自然界實際的情況。在一定時期內，雖然兩者可能累積的有效溫積總數可以相同，但一般說來，在變動溫度下昆蟲有與恆溫下不同的發育速率。Parker (1930) 關於蝗卵的試驗亦証明了這一點。

3. 由於我們所取用的氣象資料所導致的：我們對各地常年總有效溫積的計算是依據於各地點的常年每月平均大氣溫度，因此有如下缺點：

(i) 決定昆蟲生長發育的是其周圍的微氣候條件，亦即所謂昆蟲生態氣候條件。就粘蟲而言，除了蛹期及前蛹期在地下土壤環境內渡過，故受土壤溫度的制約外，其他各蟲期均在作物（或雜草）中生活。因此，如採用這些作物內的微氣候溫度紀錄應當使結果更為精確。但是作者認為在本文所涉及的范围——根據溫積法則決定昆蟲在各地區的可能發生世代數目——利用大氣溫度已經足夠；而且在將本法則運用於實際工作時，亦沒有可能利用生境溫度。

(ii) 在利用平均溫計算時，有使有效溫積總數減少的傾向。作者曾對北京地區 1933—35 年氣溫紀錄分別按兩種方法（按月平均溫計算與按日平均溫計算）統計過各年份的有效溫積總數（以 9.6°C 為發育起點），發現如按月平均溫計算則較按日平均溫計算分別減少為：2.5% (1933)，4.0% (1934)，0.7% (1935)，平均約為減少 2.4%。

(iii) 粘蟲蛹及老熟幼蟲均在土中發育（或越冬），因此土壤溫度是決定此兩蟲期發育速率的直接因子。

4. 由於我們在決定各地的推測發生世代數目時，系把整個生活史作為一個單位，加以考慮，忽視了下列兩點：

(i) 各蟲期的發育起點，與發育有效溫積不同。因此，如以每一蟲期作為一個單位，來考慮其與發生歷的關係，應當更為可靠與恰當，表 6 與表 7 的分析亦指出了這一點。

(ii) 各地區的越冬蟲態、越冬場所可能不同，各地冬日自然低溫作用對粘蟲越冬蟲期的影響亦不相同；因此越冬蟲期的溫度累積在各地亦有所差異。

5. 由於影響發育速率的其他生物與非生物因素的作用所導致的：我們在實驗中只檢查了溫度（而且是恆溫）一個因素對發育速率的影響。為了尽可能的排除其他因子的攪擾，人為地控制了飼養方法、食物種類、相對濕度以及光照情況，使之趨向於一致；同時也還免除了其被寄生性昆蟲寄生的可能。

显然,湿度、光照、食物以及寄生情况等这些在自然界经常起作用的因素是会加速或延迟其发育的进行的。因此,企图用有效温积一个指标来决定各地区的發生世代数目与推测各虫期發生日期是带有片面性的。但亦应指出:温度在一般情况下,仍是决定昆虫发育速率的主要因素。因此,根据有效温积的计算来估计与推测各地区的可能發生世代数目以及各虫期的大致出现季节,供防治参考,仍是可能的,我們的实验亦证明了这一点。

(三)关于越冬蛹羽化与温积累积的关系

在资料整理过程中,我們看到了一个很令人感到兴趣的情况。那就是在我国北方地区,最早的成虫出现期,这比各该地区为了累积其蛹羽化的有效温积 [$\Sigma(t-12.6)=121$ 日度] 所必須的日期为早。例如,根据东北粟夜盗虫研究工作組(1954)报告,1954年新金县4月11日解冻,4月15日即发现成虫,而与之相邻近的大連市常年4月份平均气温又有 9.4°C 。同一报告指出:該年在5月上旬有較多成虫活动。但至此时止,在有效温积累积上亦是困难的(大連市常年5月份平均气温为 15.4°C)。

土山哲夫(1949)亦提供了同样的一个例証:1947年东北北部(以五常、拉林等地为例),越冬蛹在5月中旬至6月中旬羽化。而与之相邻近的哈尔滨市此时常年平均气温为 14.2°C 。亦反应了成虫初現期,如按月平均温度計算,积累下的有效温积是極不足以为其发育所需要的。

去年(1956年)自4月中旬以来,东北、华北均有成虫出现(中央农业部植物保护局资料)亦反应了这一点。

对此,我們估计可能是下列因素綜合效果所导致的:

1. 由于土壤是北部地区粘虫主要越冬虫态——蛹期的越冬場所,其温度不同于我們所取用的大气温度。Костин (1951)指出:土壤温度的年变幅度是随着深度的增加而减少的,而土壤温度的常年平均值又应比气温的年平均值为高。

假如更考虑到在有雪复盖的情况下,对土温的保持更为有利(注:应当认为此时不可能积累任何有效温积,但保持一个相对稳定的温湿度条件以利于蛹的越冬是有很大的意义的)。那末可以认为,作为粘虫蛹期越冬場所的土壤,其温度在一般的情况下可以比同时期的气温高出很多。

2. 由于粘虫蛹越冬前,可能已积累了一定数量的有效温积。如以哈尔滨为例,該处第2代蛹在8月下旬至9月上旬开始准备越冬。而这地区的8月份平均气温为 22.2°C ; 9月份平均气温为 14.3°C ,那末在其越冬前,积累一部分有效温积是完全可能的。事实上,如表7所示,部分較早化蛹的个体甚至在当年即可能羽化發生第3代成虫。因此部分(或小部分)粘虫可能以成虫态越冬。

同样如上所述,在新金县4月11日解冻,15日即发现成虫,我們同意用东北粟夜盗虫研究工作組所提出的:有可能有成虫越冬的解釋。但是無論如何,蛹仍应被視作粘虫在东北及华北地区的最主要的越冬虫态。

3. 由于蛹在越冬过程中,經冬季自然低温处理而引起的发育速率改变:

如 Ahmad (1936)对丽蝇(*Calliphora erythrocephala*)蛹的实验所指出的:在 5°C 下經8天处理与不处理比較,即可使处理蛹发育時間約縮短10%,且大体上表现为在較低温度下;其发育速率增加較多(引自 Andrewartha & Birch, 1954)。因此,对粘虫說来,在自

然條件下，每年均需經過較長時間的低溫作用（如東北北部地區甚至長達半年）有可能使這一作用表現得更為明顯。

（四）關於各地區可能發生世代數目的決定

由以上討論可以看出在決定粘蟲在各地區可能發生世代數時，不能單憑溫度一個因素而加以肯定。就以溫度而言，也不是由有效溫積一個指標而予以確定的。作者認為，至少應同時考慮下列因素：

1. 作為推測依據的月平均溫度紀錄與日平均溫度的差異。如前已指出在溫度平均計算過程中有使有效溫積總數減少的趨向。例如以北京地區 1933—35 年為例，按月平均氣溫計算的年有效溫積數比按日平均氣溫計算平均減少 2.4%。

2. 越冬蟲期在越冬後所可能引起的發育速率加速的可能性。例如北京地區在越冬前粘蟲蛹期平均已經積累的有效溫積數只有 4 日度（見表 6）。而自越冬後到第 1 代成蟲羽化如按一般發育起點計算亦又能積累極少量的有效溫積數。這除了由於生活史不整齊而引起的差異外，顯然是由於越冬過程的影響效果。

3. 昆蟲生境的溫度情況及其與大氣溫度的差異。

4. 變溫引起的發育速率改變以及高溫對發育過程的抑制，低溫對發育速率的加速效應（由於發育速率與溫度的非線性關係）。

最後應當指出：本文所討論的只是粘蟲可能發生世代數的大致區域分布。至於每一地點、每一年份的實際發生情況，仍在很大程度上，決定於當時當地的各項因素（包括生物與非生物條件），其中地理條件可能亦是一個主要的影响因子。據西南農學院蔣書楠教授來信云：四川省在 1000 米至 1250 米左右山地，粘蟲一般每年發生 3 代，而在 1600 米以上高山地區，則只發生 2 代。因此，在本文中所繪出粘蟲發生世代的區劃圖並未考慮到海拔及地形地勢的關係。至於這些地區是否有粘蟲發生以及發生的多寡——這些問題的解決有賴於更多方面的研究——不在本文討論之列。

五、結 論

由以上討論，可得出結論如下：

1. 有效溫積法則，在一定條件下，用以估計與推測某些昆蟲（如沒有明顯的滯育現象）在某地的常年可能發生世代數目，及其大致發生歷，仍然有一定的實用價值。

2. 粘蟲不同蟲期的發育起點與有效溫積常數各不相同。按我們實驗結果：

卵期發育起點為 13.1°C 有效溫積常數為 45 日度

幼蟲期發育起點為 7.7°C 有效溫積常數為 402 日度

蛹期發育起點為 12.6°C 有效溫積常數為 121 日度

成蟲期發育起點為 9.0°C 有效溫積常數為 111 日度

整個生活史發育起點為 9.6°C 有效溫積常數為 685 日度

3. 粘蟲在全國各地的常年可能發生世代數目，在很大程度上，受溫積法則所制約。亦就是說，凡愈處北方，全年平均氣溫愈低，常年有效溫積總數愈小者，每年可能發生世代數愈少；反之，則愈多。因此，在各地區〔按自然地理區劃（羅開富，1956）〕的可能發生世代數目大致是：

华北区	3—4 代	青藏区	1—2 代
华中区	4—7 代	蒙新区	2—3 代
华南区	7—8 代		

4. 作者認為: 可以用如下全年平均气温的等温綫, 作为粘虫在我国各地可能發生世代数目区域分布的近似界限:

- 2°C 等温綫为 1 代区与 2 代区間的近似界限
- 6°C 等温綫为 2 代区与 3 代区間的近似界限
- 12°C 等温綫为 3 代区与 4 代区間的近似界限
- 16°C 等温綫为 4 代区与 5 代区間的近似界限
- 18°C 等温綫为 5 代区与 6 代区間的近似界限
- 20°C 等温綫为 6 代区与 7 代区間的近似界限
- 22°C 等温綫为 7 代区与 8 代区間的近似界限

5. 由于粘虫在各地的越冬虫态不同, 蛹的生活条件的独特性世代重叠的現象、以及其他生物与非生物条件的影响, 使其在各地可能發生世代数的决定复杂化。作者在对北京与哈尔滨两地粘虫各虫期的發生历与各該虫期所要求的有效温积数的关系, 作具体的检查后, 認為在我国北部地区以蛹为主要越冬虫态的条件下, 越冬蛹在温积累积上的独特性是影响推測發生世代数正确程度的重要因子。

参 考 文 献

- [1] 人民革命軍事委员会气象局: 1951. 中国气象資料。
- [2] 八木誠政: 1934. 二化螟虫的等發生帯に就いて。农事試驗場彙報 2(3): 381—94。
- [3] 土山哲夫: 1949. 夜盜虫の生态と防除法。东北农研 2: 27—31。
- [4] 小泉清明: 1929. 昆虫の發育に及ぼす大气湿度の影響に关する研究。动物学杂志 41(488): 252—70。
- [5] 刘增义: 1956. 粘虫。中央农業部农作物病虫害預測预报訓練班講義(油印)。
- [6] 刘增义、陈瑞麗、李綿春: 1956. 粘虫。农業科学通訊 56(3): 167—72。
- [7] 东北农業科学研究所, 中国科学院昆虫研究所: 1954. 东北粟夜盜虫研究工作組報告(油印)。
- [8] 罗开富: 1956. 中国自然地理区划草案(載“中国自然区域草案”1—20 頁)。
- [9] 張宝瑛、段月薇、曹琳: 1956. 中国气候区划草案(載“中国自然区划草案”37—49 頁)。
- [10] 蔣書楠: 1956. 有关粘虫發生資料(通訊)。
- [11] 魏鴻鈞: 1951. 华北的行軍虫。大众农業 5(3): 87—8。
- [12] 魏鴻鈞: 1953. 粘虫。农業科学通訊 1953(7): 296—7。
- [13] Костин, С. И.: 1951. Основы Метеорологии и Климатологии. Гидрометеорологическое издательство. (杜倫聰、白汝嫻、秦繼祖、方璧清譯, 1953)。
- [14] Щеголов, В. Н. 等: 1949. Сельскохозяйственная Энтомология. Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. (西北农学院昆虫教学研究組譯, 1949)。
- [15] Ahonad, T.: 1936. The influence of ecological factors on the Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* and its parasite *Nemeritis canescens*. *J. Anima! Ecol.* 5: 67—93.
- [16] Allee, W. C. etc.: 1949. Principles of Animal Ecology. Philadelphia and London.
- [17] Andrewartha, H. G. & L. C. Birch: 1954. The distribution and Abundance of animals. Chicago.
- [18] Arrhenius, S.: 1915. Quantitative laws in biological chemistry.
- [19] Bélehrádek, J.: 1935. Temperature and living matter, Berlin. Borutraeger.
- [20] Birch, L. C. & Snowball, G. J.: 1945. The development of the eggs of *Rhizopertha dominica* Fab. (Col.) at constant temperatures. *Australian J. Exper. Biol. & M. Sc.* 23: 37—40.
- [21] Blunck, H.: 1923. Die Entwicklung des *Dytiscus marginalis* L. Vom Eibis Zur Imago. 2 Tiel, Die Metamorphose. *Zs. Wiss. Zool.* 121: 171—391.
- [22] Bodenheimer, F. S.: 1925. On predicting the developmental cycles of insects, I. *Ceratitis capitata* Wied. *Bull. Soc. Ent. Egypte*, 1924: 149—57.
- [23] Bodenheimer, F. S.: 1926. Über die Voraussage der Generationszahl von Insekten, III. Die Bedeutung des Klimas für die landvoirtschaftliche Entomologie. *Zs. angew. Ent. Berlin*, 12: 91—122.
- [24] Browning, T. O.: 1952. The influence of temperature on the rate of development of insects, with

- special reference to the eggs of *Gryllulus commodus* Walker. *Australian J. Scient. Research*, B 5: 96—111.
- [25] Davidson, J.: 1942. On the speed of development of insect eggs at constant temperatures. *Australian J. Exper. Biol. & M. Sc.* 20: 233—9.
- [26] Davidson, J.: 1944. On the relationship between temperature and rate of development of insect at constant temperatures. *J. Animal Ecol.* 13: 26—38.
- [27] Filing, G. A.: 1931. The effect of temperature on feeding and development of the leaf-tyer, *Phlyctaenia ferrugalis* J. *Econ. Ent.* 24: 52—4.
- [28] Fisher, R. A. & F. Yates: 1948. Statistical tables for biological agricultural and medical research, London.
- [29] Gasparin, Comte de A. E.: 1943-48. Cours d'agriculture. Paris, La Maison Rustique, 4 Vols.
- [30] Headlee, T.: 1921. The response of the Bean Weevil to different percentages of atmospheric moisture. *Jour. Econ. Ent.* 14: 264—9.
- [31] Janish, E.: 1932. The influence of temperature on the life history of insects. *Tr. Ent. Soc. London* 80: 137—68.
- [32] Krogh, A.: 1914a. On the rate of development and CO₂ production of Chrysalides of *Tenebrio molitor* at different temperatures. *Ztschr. Allg. Physiol.* 16: 178—90.
- [33] Krogh, A.: 1914 b. On the rate of embryonic development. *Ztschr. Allg. Physiol.* 29: 29—36.
- [34] Ludwig, D.: 1928. The effects of temperature on the development of an insect (*Popillia japonica* Newman). *Physiol. Zool.* 1: 358—89.
- [35] Ludwig, D. & Cable, R. M.: 1933. The effect of alternating temperatures on the pupal development of *Drosophila melanogaster* Meigen. *ibid.* 6: 493—508.
- [36] Parker, J. R.: 1930. Some effects of temperature and moisture upon *Melanoplus mexicanus* Saussure and *Camnula pellucida* Scudder (Orthoptera). *Bull. Univ. of Montana. Agr. Exper. Sta.* 223: 1—132.
- [37] Réaumur, R. A. F. de: 1735. Observations du thermomètre, Men. Acad Roy Sc., Paris., pp. 545—76.
- [38] Richardson, C. H.: 1935. An Introduction to Statistical Analysis. (罗大凡、梁宏译, 1950).
- [39] Sanderson, E. D. & Pearis, L. M.: 1914. The relation of temperature to insect life. *Tech. Bull., N. H. Call. Agr. Exper. Sta.* 7.
- [40] Simpson, C. B.: 1903. The codling moth. *Bull. U. S. Div. Ent.*, 165.
- [41] Van't Hoff, T. H.: 1884. Etudes de dynamic chimique. Amsterdam, Müller. p. 107.

TESTING THE NUMBER OF GENERATIONS OF THE ARMY WORM (*CIRPHIS UNIPUNCTA* HAW.) OCCURRING IN VARIOUS GEOGRAPHICAL REGIONS IN CHINA BY THE METHOD OF "THERMAL SUMS"

LIN CH'ANG-SHAN & CHENG CHENG-LIANG

Peking University

The army worm (*Cirphis unipuncta* Haw.) was commonly found in a wide geographical district in China occurring on the extreme North to the South. It was known also that the number of generations varies according to the position of the latitude, being more in the lower latitude and fewer generations in the higher latitude. This phenomena was tested by means of "thermal sums" equation. The present studies indicate that the equation holds fairly well for this particular pest. That is to say, we may use this equation together with the available meteorological data to estimate the possible and approximate number of generations that may happen in certain regions.

In the laboratory under various constant temperature conditions the biological constants were computed. They were found as follows:

Stages	Threshthod for development	"Thermal constant"
Egg	13.1°C.	45 day-degrees
Larva	7.7°C.	402 day-degrees
Pupa	12.6°C.	121 day-degrees
Adult (sexual maturity)	9.0°C.	111 day-degrees
Complete generation	9.6°C.	685 day-degrees

With these constant values and the meteorological data it was found that the number of generations varies in the following natural regions:

Tung-pei (Northeastern) region	1—2 generations
Hwa-pei (North China) region	3—4 generations
Hwa-chung (Central China) region	4—7 generations
Hwa-nan (South China) region	7—8 generations
Kang-tian (Sikang-Yunnan) region	3—4 generations
Tsing-tsang (Tsinghai-Tibet) region	1—2 generations
Mon-Sin (Mongolia-Sinkiang) region	2—3 generations

For a better estimation of the range of number of generations it was suggested to use the "standard error of estimate" method in supplementing the well-known hyperbolic equation; while for more accurate estimate for specific region certain correcting factors must be made.

The present authors also suggest that it was quite possible to use the mean annual isotherm line as the approximate line of division between two adjacent regions, thus:

Isotherm line of 2°C. separating 1 and 2-generation regions
Isotherm line of 6°C. separating 2 and 3-generation regions
Isotherm line of 12°C. separating 3 and 4-generation regions.
Isotherm line of 16°C. separating 4 and 5-generation regions
Isotherm line of 18°C. separating 5 and 6-generation regions
Isotherm line of 20°C. separating 6 and 7-generation regions
Isotherm line of 22°C. separating 7 and 8-generation regions

In the light of the "thermal constant" idea the possible overwintering stage in certain region was also suggested, for example, in Peking and Harbin, it was principally the pupal stage.

Finally, in the discussion the possible use and the limit of the Sanderson-Pearis-Krogh generalization were mentioned and other possible correcting factors also considered.